



色彩管理 原理与应用

**COLOR MANAGEMENT PRINCIPLES
AND APPLICATIONS**

徐艳芳 编著



印刷工业出版社



色彩管理 原理与应用

COLOR MANAGEMENT PRINCIPLES
AND APPLICATIONS

徐艳芳 编著



印刷工业出版社

内容提要

全书共分为12章。第1、2两章为颜色及其度量的基础知识和技术，是色彩管理技术的基石。第3~5章，介绍了当前色彩管理技术应用对象的颜色特性，以及由此建立的基本的颜色处理方法，涉及设备的颜色特性、特性的量化及颜色在不同设备间传递时的匹配。这些内容是色彩管理技术处理颜色最基本的方式、方法，也是认识和思考其应用问题的基础。第6章给出了在数字媒体体系中色彩管理的系统框架和相关技术内容，是色彩管理实施必需的系统组成。第7~9章分别介绍了建立显示、输入和输出类颜色设备ICC标准格式特性文件的方法和技术手段，而为设备构建颜色特性文件是色彩管理实施的首要任务。第10和第11两章，给出了色彩管理系统的工作流程和一些典型应用软件中的流程实现。第12章则摘取了色彩管理技术在印刷打样、广告输出等行业中有代表性的应用或案例，以从实践中阐述色彩管理的功能和作用。

图书在版编目(CIP)数据

色彩管理原理与应用/徐艳芳编著. —北京:印刷工业出版社, 2011.2
ISBN 978-7-5142-0032-4

I. 色… II. 徐… III. 印刷色彩学 IV. TS801.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第262144号

色彩管理原理与应用

编 著: 徐艳芳

责任编辑: 艾 迪

责任校对: 郭 平

责任印制: 张利君

责任设计: 张 羽

出版发行: 印刷工业出版社(北京市翠微路2号 邮编: 100036)

网 址: www.keyin.cn www.pprint.cn

网 店: [//shop36885379.taobao.com](http://shop36885379.taobao.com)

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京多彩印刷有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

字 数: 328千字

印 张: 16.625

印 数: 1~3000

印 次: 2011年2月第1版 2011年2月第1次印刷

定 价: 49.80元

I S B N : 978-7-5142-0032-4

◆ 如发现印装质量问题请与我社发行部联系 发行部电话: 010-88275707

序言

近些年，在越来越多的领域，越来越多的人时不时地看到和听到“色彩管理”这一词汇。实质上，“色彩管理”就是对颜色的有效控制，这已是一个很久的话题了。但随着计算机技术及其应用的普及，传统的颜色控制方法已嫁接了先进的数字技术，成为一个崭新特色的现代颜色控制方法，进入了诸如彩色桌面出版、网络传播、纺织印染等领域和行业，应用也越来越广泛和引人注目。这种背景下，许多人就产生了对色彩管理相关知识的求知欲望，希望能在基础的原理、方法和应用技术上了解色彩管理，以更好地指导其在生产和科研中的应用。

笔者从事颜色理论和相关技术的教学和科研工作，发现对于色彩管理中的一些技术细节，学习者常感到好似有层薄纱相隔而琢磨不透。例如，对于诸如再现意图的含义这样的问题，只能从作用效果的角度去揣摩和认识，而不能明晰其根本的技术内涵。这种只从应用角度的认识是非本质的，难免使学者对其灵活应用构成一定的障碍。分析目前市场上已有的色彩管理技术相关书籍，感觉还需要有一本能从相关的色度学和数学处理方法的角度，去阐述色彩管理基本原理和方法的书籍。以能够撩开一层层的技术面纱，从内核的层面对应用中的问题有一个认识和分析的思考来源。

本着这样的考虑，该书的内容定位于：提供色彩管理技术原理所需要的基础颜色理论知识，包括基本的色彩和色度学知识，以及所需要的颜色测量技术；展现色彩管理最底层技术中的关键内容，包括设备颜色特性化关系建立的数学方法，色域的构建方法，以及色域映射的色度和数学处理技术等；强化系统的构建、基础实践和应用，包括色彩管理体系的技术功能，设备特性文件的建立，以及在印刷、广告和摄影等行业中的应用。以期能够为初学者服务，为需要底层知识而进一步深入研究和应用的人员服务。使他们不仅能够了解色彩管理的技术方法和来龙去脉，且能够据此思考，解决应用中出现的问题。拟或能够自己设计内容，并与色彩管理技术模块相关联，开发出自己的作品。因此，也期望本书能起到搭建地基和抛砖引玉的作用。

笔者以多年色彩管理相关教学和科研的经验，以及学习、认识，特别是研究、实践的点滴积累，对色彩管理技术原理中的关键知识点，从可操作的技术层面进行了较为详尽的解释和说明，以期能实现写作初衷。

在多年相关的教学和科研中，得到北京印刷学院刘浩学教授、武兵副教授、黄敏博士，实验室宋月红高级工程师和刘瑜老师，以及姜桂平、黄葭蓓、郭歌、许雯、于荟琪、刘丽丽、黎阳晖、朱玉丹和李正平等同学的大力支持和帮助；在本书编写过程中，还参

考和引用了一些其他书籍和研究文献。在此，对所有直接和间接的帮助，一并深表谢意！

书中大量内容源于自己的实践和研究结果。但正是因为这样，才更易因认识的局限性出现不足甚至是错误，敬请广大读者不吝赐教和批评指正，也非常愿意结交学友，共同进步（联系方式：E-mail: xuyanfang@bigc.edu.cn）。

徐艳芳

2010年12月于北京印刷学院

目 录

第1章 颜色的形成与色觉	001
1.1 物体的颜色	002
1.1.1 光与颜色	002
1.1.2 光源的光谱特性和颜色	003
1.1.3 物体的光谱特性和颜色的形成	005
1.2 颜色视觉的形成	007
1.2.1 人眼的颜色视觉	007
1.2.2 颜色混合	010
1.2.3 加色三原色和减色三原色	011
1.3 颜色视觉现象	012
1.3.1 视网膜的颜色区	012
1.3.2 色对比和色适应	013
1.3.3 同色异谱现象	014
第2章 颜色的描述与测量	016
2.1 颜色的定量描述——CIE色度系统	016
2.1.1 三刺激值和色品坐标	016
2.1.2 CIE 1931-CIEXYZ标准色度系统	018
2.1.3 均匀颜色空间和色差公式	020
2.1.4 色貌和色貌模型	024
2.2 颜色的测量	025
2.2.1 颜色测量的方式和几何条件	025
2.2.2 标准照明体和标准光源	028
2.2.3 含荧光材料的颜色测量	029
2.2.4 颜色测量的注意事项	031

第3章 设备与颜色	034
3.1 颜色设备的类型	034
3.1.1 输入设备	034
3.1.2 显示设备	035
3.1.3 输出设备	035
3.2 设备的颜色表达	038
3.2.1 设备相关及设备无关的颜色空间	038
3.2.2 sRGB颜色空间	039
3.3 设备的色域	042
3.3.1 色域的表示	042
3.3.2 不同类型设备的色域比较	043
3.4 与设备无关的RGB颜色空间	045
3.4.1 光色特性	046
3.4.2 色域比较	047
第4章 设备的颜色特性化	051
4.1 设备的颜色特性化	051
4.1.1 特性化的含义	051
4.1.2 设备的校准	052
4.2 特性化关系的建立方法	054
4.2.1 模型法	054
4.2.2 多项式拟合	055
4.2.3 查找表与插值	057
4.2.4 人工神经网络	060
4.3 设备的特性文件 (Profile)	062
4.3.1 特性文件	062
4.3.2 特性文件中的颜色转换模型	062
4.4 颜色转换	067
4.4.1 颜色转换	067
4.4.2 颜色转换精度	069
第5章 色域描述与色域映射	072
5.1 颜色传递中的问题	072
5.2 色域描述	074
5.2.1 色域的有效描述	074
5.2.2 色域描述方法	075
5.3 色域映射	077

5.3.1 白点匹配	077
5.3.2 色域映射算法	079
5.3.3 压缩对图像阶调层次的影响	085
5.4 颜色再现	086
5.4.1 再现意图 (Rendering Intent)	086
5.4.2 再现意图实例分析	091
第6章 ICC色彩管理体系	096
6.1 ICC色彩管理	096
6.1.1 色彩管理的发展历程	096
6.1.2 ICC色彩管理框架	097
6.2 色彩管理模块CMM (Color Management Module)	098
6.3 ICC特性文件的标准格式	101
第7章 建立显示设备的ICC特性文件	108
7.1 显示状态参数及其调整	108
7.1.1 显示状态参数	108
7.1.2 显示状态参数的调整	109
7.2 ICC Profile 文件的制作流程	112
7.2.1 参数设置	113
7.2.2 颜色采样	120
7.2.3 特性化关系建立	122
7.3 显示设备ICC Profile文件的特点	125
7.3.1 色度特点	125
7.3.2 颜色模型特点	126
第8章 建立输入设备的ICC特性文件	128
8.1 采样色标	128
8.1.1 扫描仪用采样色标	128
8.1.2 数字相机用采样色标	130
8.2 输入设备的校准	132
8.2.1 扫描仪的校准	133
8.2.2 数字相机的响应控制	134
8.3 特性文件的制作	136
8.3.1 扫描、拍摄色标	136
8.3.2 建立特性文件	138

8.4 特性文件分析	139
8.4.1 颜色模型	139
8.4.2 颜色模型的性能	140
第9章 建立输出设备的ICC特性文件	143
9.1 输出状态的优化	143
9.1.1 印刷设备的状态优化	144
9.1.2 打印设备的状态优化	147
9.2 采样	149
9.2.1 采样设备值的设计	149
9.2.2 采样输出与颜色测量	156
9.3 特性文件的生成	165
9.3.1 特性文件的共有参数	165
9.3.2 CMYK设备特性文件的特有参数	173
9.3.3 其他控制	176
9.3.4 特性文件的生成	179
9.4 输出特性文件分析	180
9.4.1 特性文件的精度	180
9.4.2 颜色转换的性能	181
9.5 多色输出设备的特性文件建立	184
第10章 色彩管理流程	187
10.1 色彩管理流程	187
10.1.1 色彩管理流程的类型	188
10.1.2 色彩管理流程的实施基础	190
10.1.3 不同时间转换的色彩管理流程	194
10.2 不同应用的色彩管理流程	196
10.2.1 基于应用程序的色彩管理流程	196
10.2.2 打样流程	199
第11章 软件中的色彩管理	203
11.1 不同系统级色彩管理的相互关系	203
11.2 操作系统级的色彩管理	204
11.2.1 操作系统级色彩管理模块及显示功能	205
11.2.2 Macintosh中的色彩管理	206
11.2.3 Windows中的色彩管理	210

11.2.4 操作系统中的引擎QuickDraw、GDI和Quartz	211
11.3 应用软件中的色彩管理	212
11.3.1 具有与不具有色彩管理功能的应用软件	212
11.3.2 Adobe应用软件中的色彩管理	213
11.4 设备驱动中的色彩管理	220
11.4.1 打印驱动中的色彩管理	220
11.4.2 扫描驱动中的色彩管理	222
第12章 色彩管理技术应用	224
12.1 数字(硬拷贝)打样	224
12.1.1 系统组成	224
12.1.2 打样实施	225
12.1.3 打样质量控制	228
12.2 屏幕软打样	230
12.2.1 软打样的基础条件	230
12.2.2 软打样的效果评价和局限性	231
12.2.3 软打样实践中需注意的问题	236
12.2.4 远程打样	237
12.3 数字印刷	238
12.3.1 数字印刷的颜色输出性能	238
12.3.2 数字印刷对传统印刷的模拟	239
12.4 广告输出与彩色扩印	241
12.4.1 设备特征	241
12.4.2 颜色表现性能	242
12.4.3 输出与输入的匹配	246
12.4.4 色彩管理流程	250
参考文献	252

颜色的形成与色觉

想要管理色彩，首先要了解色彩的概念以及形成方式。

日常生活中我们常说“红灯”、“绿苹果”和“棕皮鞋”，这些名词前所冠予的形容词便是通常意义上的颜色，也称为色彩。有了红色对灯光的描述，我们仿佛感觉到了灯光的温暖，或使人联想到了婚礼上的喜气场面，或是路口禁行的指示灯光，而绿色的苹果可能会使人想到这个苹果还不够成熟。

不难看出，颜色是人眼视觉系统对物体形状、大小等形象感觉之外的又一种感觉。

物体的形状、大小等特征是物体固有的，无论在什么环境中，如有光照或无光照情况下。但经验告诉我们，不同环境下颜色不同。在没有光照的情况下，人眼是根本看不到物体的颜色的。像“红灯”这种情况，没有灯光则也不会有何种颜色的灯。所以，光对颜色的感觉是不可或缺的，是颜色形成的第一个参与者。无论是灯光直接作用于人眼（体现光本身的颜色），还是光照到物体上反射后进入人眼（体现物体的颜色），其本质都是光对人眼的刺激结果。颜色是人眼对光的一种视觉特征。所以常这么讲：无光就无色。

综合而言，颜色是光作用于人的视觉系统后所产生的一系列复杂的生理和心理反映的综合效果。

我国国家标准 GB/T 5698—2001 中，将颜色定义为“光作用于人眼引起除形象以外的视觉特征”。那么，在颜色科学中，又如何描述这种“光作用于人眼引起除形象以外的视觉特征”呢？其实，上面所说的“红”、“绿”等颜色特征描述词所表征的只是颜色属性之一，称为色调。

在能够称之为红颜色的物体中，除了色调外，还有明暗的差异，也有鲜艳程度的差异。有的红颜色很明亮，有的则较深，这就是明亮度的差别，这一属性称为明度。此外，明度相同的红颜色中，还可能有的很鲜艳，而有的则很淡，更加接近于中灰色（白、灰、黑等），称这种属性为颜色的饱和度。在自然界中，单一波长的光谱色（也称为单色光）最饱和，其他任何非单一波长的混合色均为非饱

和色。

在颜色科学中，颜色的概念包括三方面内容：明度、色调和饱和度。这三个特性称为颜色的三属性。中灰色只有明度的差异，而没有饱和度的不同。在颜色科学中，中灰色也是颜色中的一种，称为非彩色，其他颜色则称为彩色。

在色彩管理这一技术分支中，所处理的颜色同样是包含非彩色和彩色的颜色整体。

为了能对色彩管理技术有较深入的理解，需要必要的颜色知识作支撑，本章内容将对物体颜色形成的相关因素，人眼色觉的形成规律以及色彩管理中所涉及的一些颜色视觉现象作一简单介绍。

1.1 物体的颜色

1.1.1 光与颜色

对于“苹果”和“皮鞋”等这样的物体颜色，是物体反射的照明光进入眼睛后的视觉效果，也就是说是反射光的视觉特征。因此，物体的颜色实质上是反射光的颜色特征，光与颜色的关系就成为一个首先需要认识的问题。

在物理学范畴，光被描述为具有“波粒二象性”。

从波动性这一角度来说，光的本质即为电磁波，具有振幅、波长，以及频率等属性。不同的光具有不同的波动属性。在真空中，只有波长在 380~780nm 范围内的电磁波才能对人的眼睛产生刺激，且对不同波长的光波，人眼感觉为不同的颜色。从长波端的红色，经橙、黄、绿，再到青、蓝和短波端的紫，我们称之为可见光谱，也简单地称为光。图 1-1 所示，给出了能够引起人眼刺激的不同波长的电磁波，在人眼看来具有不同的颜色。

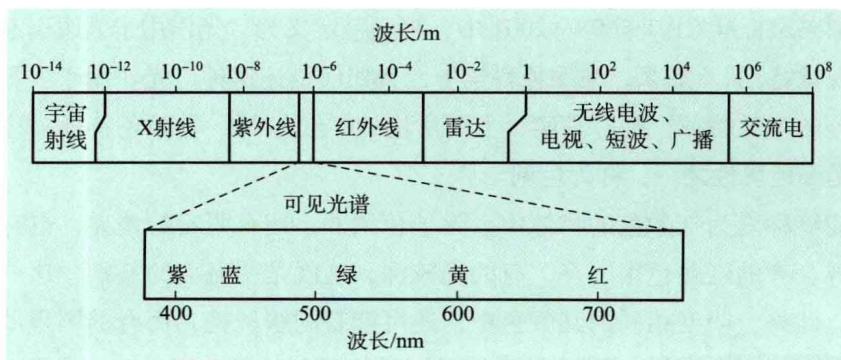


图1-1 可见光的波长范围和颜色

在可见光波长范围内，人眼对相邻波长等间隔波长差的光波的颜色差异感觉是不同的，人眼对 490nm 的青绿色光和 590nm 的橙黄色光比较敏感，1~2nm 的改变便有不同的颜色感觉。人眼对可见光范围的两端的颜色相对不敏感。此外，同一波长的色光，当光强变化时，眼睛通常感觉其颜色也随之改变，只有 572nm 的黄、503nm 的绿和 478nm 的蓝三个色光的颜色较为恒定。在正常照明条件下，人眼能够分辨光谱中大约 150 种颜色，以及光谱外的品红色 30 余种，共约 180 种。

特别强调的是，与波长、频率等波动属性不同，颜色不是光的本征属性，是需要借助外界因素（如人的眼睛）而体现出来的特征。动物的颜色视觉与人类不一定相同，如猫、狗等根本没有颜色感觉，这不在我们关注之列。

因此，只限于我们人类的视觉可以认为，不同（波长）的光具有不同的颜色，光的波长与颜色具有一对一的对应关系。

既然光的颜色感觉直接与光之外的因素相关，这就难免出现这样的问题：在其他外界因素下，如数字相机、扫描仪等仪器设备，又是如何“感知”光波的呢？可以肯定的是，它们与人眼的感知过程和性质是不同的，我们必须有针对性地给予考虑和进行技术处理。比如在摄影和印刷业，通常只关心可见光，但有时也应注意刚刚超出可见光范围的那一部分光谱成分。

比可见光长波端稍长的部分为红外波段，也称红外线（IR），常给数字相机制造麻烦，因为数字相机中感光的 CCD（charge-coupled-device，电荷耦合器件）对红外线非常敏感，本希望模拟人眼的感光过程，却感应了人眼不能感知的红外线。因此，大多数数字相机都会在 CCD 芯片或镜头前安装 IR 滤色片，以消除入射光波中的红外线。

在可见光谱的另一端，即短波端，刚刚超出的部分为紫外线（UV）区域，有时这部分“光线”也需引起关注。例如，在纸张和油墨中，常添加 UV 增白剂来增强纸张的白度和提高油墨的光亮度。其作用机理是 UV 增白剂吸收紫外线，而将其能量转换为蓝色区域的光辐射出来。

1.1.2 光源的光谱特性和颜色

所谓光源，即以可见光为主要成分的物理辐射体。

光源的种类很多，一般将其分为两大类：自然光源和人造光源。自然光源和人造光源大多是复色光，通常其中各单色光的能量比例是不同的，即复色光的辐射能量随波长而变化。将这种辐射能量随波长变化的函数关系称为光源的光谱功率（能量）分布。图 1-2 为几种典型的光谱功率分布。

图 1-2（a）称为线状光谱，它由若干条明显分隔的细线组成，如低压钠灯发出的光线就是由波长为 589.0nm 和 589.6nm 的两条黄色光线构成的。图 1-2（b）称为带状光谱，由一

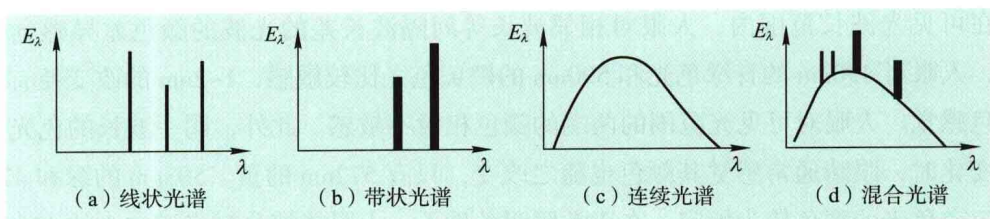


图1-2 光谱功率分布的几个类型

些分开的谱带构成，每个谱带又包含许多紧靠的谱线，如碳弧和高压汞灯就属于这种分布。图 1-2(c) 称为连续光谱，它包含一定范围内所有波长的辐射谱线，且能量随波长平滑变化。所有热辐射光源都属于这种情况，如日光和白炽灯光等，这是光源中常见的一种分布。图 1-2(d) 称为混合光谱，是前述光谱的组合，日常生活中常用的荧光灯就属于这种分布。

光源所发光中，各种波长和强度的单一光谱都对人眼形成一定的颜色视觉，而所有这些各自的颜色视觉综合在一起（当然人眼的视觉神经及大脑具有这种综合功能），便是这个光源给人的颜色感觉，即光源光的颜色。

不同的光源之所以看上去颜色不同，如白炽灯看上去比荧光灯偏红，其根本原因就在于它们的光谱功率分布不同。反过来可以讲，光源的光谱功率分布决定了它的颜色。

在人眼视觉感知的前提下，研究光源的颜色问题就成为研究其光谱功率分布的问题。

但在色度学研究中，主要关心的是光谱功率分布的相对值而不是绝对值。通常用相对光谱功率分布（简称相对能量）表示光源的光谱能量与波长间的关系。

图 1-3 为常见光源的光谱能量分布曲线。白炽灯在长波的红色段相对辐射能量高，因而看上去颜色偏红；而荧光灯在蓝、绿色波段相对辐射能量较高，红色波段的相对辐射能量较低，因而看上去呈蓝白；日光光谱则相对比较均衡，在可见光范围内能量起伏不大。

日光的光谱没有人造光源稳定，不同气候下、不同时间，它的相对光谱功率分布曲线的形状是不同的，如图 1-4 所示。这就是为什么早晚看到的是红霞，正午看到的是通常所说的白光。

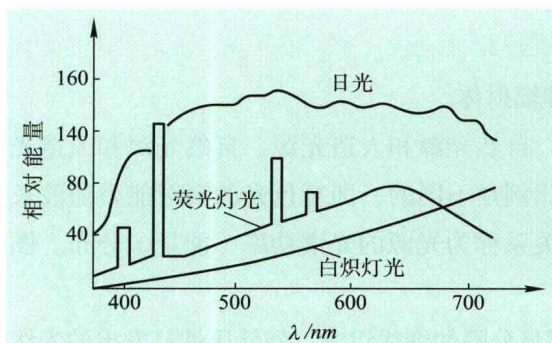


图1-3 常见光源光谱功率分布曲线

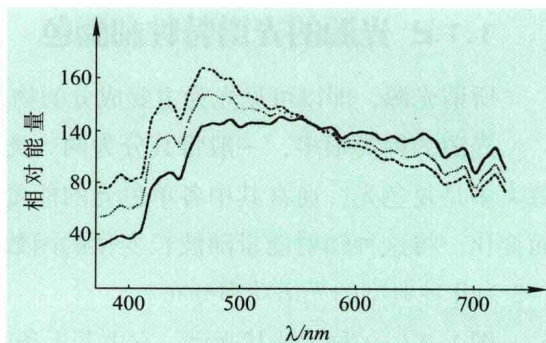


图1-4 不同时相的日光光谱功率分布曲线

由于无光就无色，又由于一般的物体本身并不发光，所以，光源的光不仅形成自身的颜色，而且也是不发光的透射和反射物体透射或反射光的源泉。照明光源中没有的光谱，物体透射或反射的光中就一定缺失这种光谱及其颜色成分。因此，光源的光谱能量特性对其他物体颜色的形成也具有重要的作用。

在色彩管理技术中，光源（光谱能量分布）的选择成为确定颜色的首要问题。

1.1.3 物体的光谱特性和颜色的形成

从上两节内容已经知道，颜色的形成是光线对人眼（和大脑）作用的结果，无光就无色。本身不发光的物体的颜色也必定是在光的参与下由光所形成的，事实上是物体透射或反射的光所形成的。透明物体透射光的颜色即是透明物体的颜色，不透明物体反射光的颜色即是不透明物体的颜色。

从物理现象看，当光照到物体表面后将会发生四种主要的作用：光在物体的第一表面的镜面反射，也称规则反射（产生光泽）；光在物体材料内部的散射，产生漫反射和漫透射；光在物体材料内部的被吸收；光直接透过物体的规则透射（产生物体的透明度）。不同的物体与光线的这四种作用程度不同。例如，金属表面主要产生镜面反射光，有明显的反射光谱选择性，因而看上去该金属表面具有一定的颜色。如金和银，看上去具有不同的颜色，又都有很强的镜面反射光，习惯上称其为金属光泽。不透明的非金属表面则主要产生漫反射光，且具有自己的选择吸收性，表现为反射光中只有入射照明光中的某些波长成分，看起来具有与入射光不同的颜色。如红色的衣服，是因为衣服材料主要反射了照明光中的长波段光谱；黄色的桌面，是因为桌子表面材料吸收了照明光中的蓝光成分，剩余的反射光综合感觉为黄色。

因此，除了照射光的特性（光谱能量分布）外，物体本身的光谱吸收、反射、透射特性也是其形成颜色的一个重要因素。

对于物体表面对光的反射，只有镜面反射和完全漫反射（各个反射方向具有相同的辐亮度，称为朗伯表面）的极端情况是极少的，绝大多数情况介于两者之间，其反射光强如图 1-5 所示。

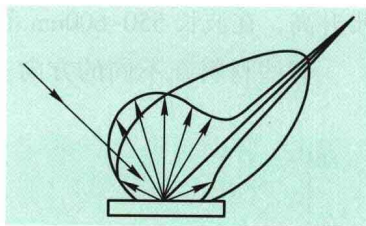


图1-5 一般物体对光的反射强度

在颜色定量研究技术中，常关心光反射的两个概念：

1. 光谱反射比（spectral reflectance） $\rho(\lambda)$

在波长为 λ 的光照射下，物体反射的光通量 $\phi_p(\lambda)$ 与入射的光通量 $\phi_i(\lambda)$ 之比。公式表示为：

$$\rho(\lambda) = \phi_p(\lambda) / \phi_i(\lambda) \quad (1-1)$$

2. 光谱反射因数 (spectral reflectance factor) $\beta(\lambda)$

在规定的照明条件下, 在规定方向的立体角内, 从物体反射的波长为 λ 的光谱辐通量 $\phi_s(\lambda)$, 与在相同条件下, 从完全漫反射体反射的波长为 λ 的光谱辐通量 $\phi_n(\lambda)$ 之比。公式表示为:

$$\beta(\lambda) = \phi_s(\lambda) / \phi_n(\lambda) \quad (1-2)$$

在给定的立体角 ω 接近 2π 时, 测得的光谱反射因数 $\beta(\lambda)$ 即为光谱反射比 $\rho(\lambda)$ 。

国际照明委员会 (CIE) 推荐用完全漫反射体作为测量光谱反射因数的标准。实际中不存在理想的完全漫反射材料, 但能找到近似的材料, 如烟熏氧化镁、硫酸钡喷涂或压粉。它们具有高的光谱反射比, 接近完全漫反射体的特性, 常用来作为工作标准。

图 1-6 给出了常作为工作标准白板材料的光谱反射比曲线, 为相对于氧化镁的测量结果。

有了工作标准的光谱反射特性曲线, 可以测量计算出物体的光谱反射特性, 可用于一定光照下物体颜色数值的计算。

颜色复制中, 肤色的准确再现非常重要。

因而, 人类皮肤的光谱反射特性的测定和研究

对现代彩色电视、彩色摄影、印刷、照明等行业的颜色再现具有非常重要的意义。光源开发、广播电视、电影等部门, 以及彩色摄影材料和设备的生产厂家都测定了大量各种人种的肤色, 定出了标准的肤色反射特性曲线, 作为上述各行业检验颜色再现质量的标准。

图 1-7 为三种肤色的平均光谱反射比曲线。其中, 浅色人种的肤色白, 对光的反射比高; 深色人种的肤色对光的反射比较低; 棕色人种的肤色则反射比介于两者之间。但肤色对光反射的共同特点是: 在短波范围内反射比均比较低, 随着波长的增大反射比逐步升高, 在波长 550~600nm 范围内均有一个陡升。

有些材料在不同的方向上具有不同光谱反射因数, 如图 1-8 所示。在照明光不变

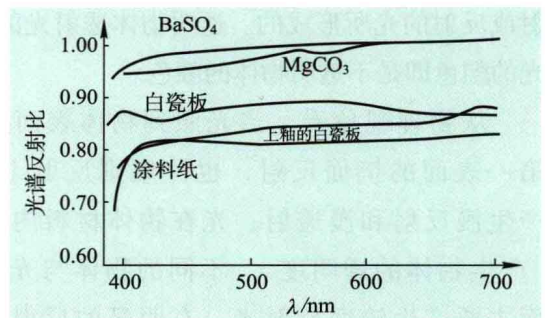


图1-6 标准白板材料的光谱反射比曲线

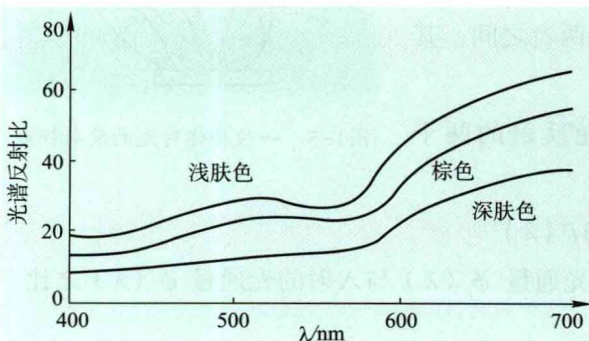


图1-7 不同人种的平均肤色光谱反射比曲线

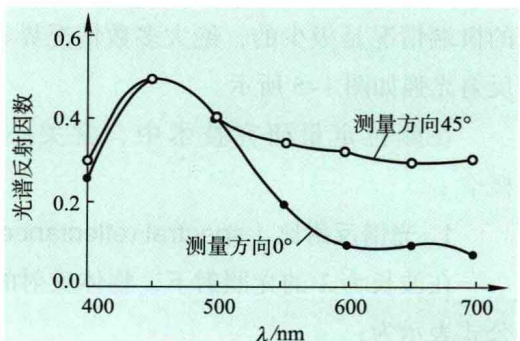


图1-8 不同方向测量的光谱反射因数

的情况下,从不同的角度看物体会会有不同的颜色。

还有一种材料为荧光材料。它与上述材料不同,除了反射、吸收、散射和透射外,它还能将吸收的一定波长的光,转化为其他波长的光向各个方向发射出去。荧光增白剂(FWAs)吸收波长在300~400nm的紫外辐射,然后以400~500nm内以可见光的形式发射出去,如图1-9所示。这样的白纸看上去会比光源的光色

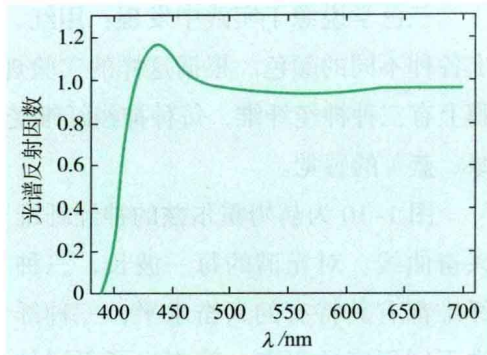


图1-9 加有荧光增白剂白纸的光谱反射因数

偏蓝。在颜色测量技术中,针对这种加有荧光增白剂的情况,需要给予特别的技术处理。

对于透射材料也定义有类似的光谱透射特性量,反映的是物体的光谱透射特性,也是其在光照下颜色形成的重要决定因素。

从物理成因的角度看(非发光)物体的颜色,可以概括为:颜色不是物体的固有属性,但物体的光谱反射和光谱透射特性是由其自身性能决定的,是其本征属性。同一光源下,不同的物体呈现不同颜色的原因是它们的光谱反射或光谱透射特性不同。

物体颜色研究和测量的落脚点落在了物体光谱特性的研究和测量上。

需要说明的是,至此所讨论的光源颜色、物体颜色的成因和形成,具有一个默认的前提,即光源发出的光和物体透射、反射的光是在人眼的感知下形成的。

1.2 颜色视觉的形成

1.2.1 人眼的颜色视觉

前面总结出无光就无色,但牛顿也有句名言:光线中没有色彩。

事实上,只有光进入人的眼睛才产生了包括颜色感觉在内的视觉。人眼在颜色视觉中起着接受和感知光线的作用。更严格地说,是眼睛对光线的刺激产生了响应,响应信号又传递给大脑,经过大脑的加工和处理,才最终形成了颜色的感觉。所以说,从客观物质的角度看,光线仅是电磁波,本身并没有颜色的特征,是我们人眼对它的感受赋予了颜色特征。通常说,人眼能够分辨颜色,实质上是对一定范围内不同波长的电磁波产生了不同的颜色感觉。

人眼能够分辨颜色的机理一直是人们所关心和探讨的课题。其中,较有影响的是扬-赫姆霍尔兹的三色学说(Three-Component Theory)和赫林的四色学说(也称为对立学说)。前者建立在颜色混合的实验规律之上,后者则是由视觉现象总结出来的。这两种学说都能解释大量的颜色视觉现象,但也都存在不足。因此,在这两种学说的基础上,1971年,由Vos和Walraven提出了相对完善的阶段学说。